新世代3次元CADの導入と製品開発プロセスへの影響

The Introduction of 3D-CAD and Its Impact on Product Development Processes

青島矢一[1]
延岡健太郎
竹田陽子

[1] 3人の筆者の並び順は本論文に対する貢献度とは全く関係なく、本来は並列されるべきものである。

要約

ソリッドモデラーと呼ばれる新世代の3次元 CAD は、形状から大きさ、質量、材料にいたるあらゆる製品属性をデジタルデータとして定義して、それを映像化する力をもつ技術である。従来の２次元 CAD では、既存の開発プロセスや開発組織を前提として、個別の設計活動の効率性を達成することが目的となっていた。それに対して新世代の3次元 CAD は製品開発プロセスに対して根本的な変革を要請するものである。本論文では、この新しい技術の導入に伴う潜在的な便益と問題点を明らかにするために行われた質問票調査の結果を報告する。

日本の機械系製造企業 169 社から得られたデータをもとに本論文ではまず、3D-CAD の普及パターンを明らかにした。データによればサンプル企業の 65%以上が既に 3D-CAD を導入しているにも関わらず、それをメインの設計ツールとして利用しているケースは 10%にも満たないことがわかった。続いて普及が遅い理由を明らかにするために、「早期採用企業」と「その他の企業」の比較を行った。早期採用企業に特徴的であったのは、異なる機能部門間や関連企業間での情報交換の促進して、結果としてコンカレントな開発プロセスを実現する技術として3次元 CAD を位置づける傾向がある点であった。また早期採用企業は、開発タスクの境界を再定義したり、人的資源を再配分することの重要性を強く認識していた。さらに早期採用企業では３次元 CAD の導入が全社レベルの専属部隊によって推進されていたのに対して、その他の企業では設計部門が主体となって行われる傾向にあった。

これらの結果は、3次元 CAD の普及を進めてその潜在能力を引き出すためには、各機能部門での部分最適化に陥らず、開発プロセス全体の最適化を達成できるような戦略的姿勢と組織的仕組みが必要であることを示唆している。

Summary

Recent 3D-CAD devices that feature ‘solid modeling’ can define virtually every attribute of a physical product, including its shape, size and mass, in terms of digital parameters, and has the ability to visualize the product. Whereas older 2D-CAD was aimed primarily at increasing the efficiency of individual design projects within existing development processes and organizations, the benefits accruing from the latest 3D-CAD may require a fundamental change in development processes. The objective of this study is to report results of our questionnaire survey that was conducted to identify potential benefits and problems associated with the introduction of this new technology.

In this paper, we first report overall patterns of 3D-CAD diffusion, based on data obtained from 169 Japanese machinery-related manufacturing firms. Then, we explore organizational factors influencing 3D-CAD introduction, and empirically examine the

impact of 3D-CAD on various performance outcomes.

Our results shows that, although nearly 65% of sample companies have already introduced 3D-CAD, companies using 3D-CAD as a main design tool either at the corporate or the division level are even less than 10%. To identity the reason for this slow diffusion, we compare various factors between ‘early adopters’ and ‘others.’ We found that early adopters tend to capture 3D-CAD as a technology to improve information exchange between different functional departments and collaborative companies and promote concurrent development processes. They also recognize importance of redefining task partitioning and reallocating human capital. In addition, early adopters have top-down processes with corporate-level dedicated projects in introducing 3D-CAD; other companies tend to delegate introduction initiatives to design engineering departments.

These findings imply that having an idea of ‘global’ optimization to improve the entire development process, rather than ‘local’ optimization within each function, is necessary to facilitate 3D-CAD introduction.

1. はじめに

情報技術の急速な進展は製造業における新製品開発プロセスに対して極めて大きな影響をもたらしつつある。様々な情報技術の中で本論文で注目するのはソリッドモデラーと呼ばれる「新世代の3次元 CAD」技術である。新世代の3次元 CAD は立体の内部構造までも含めた製品情報全体をデジタル情報として定義することができる技術である。後述するように、2次元を中心とした旧来の CAD 技術が既存の開発プロセスや開発組織を前提として各開発作業の効率化を目的としていたのに対して、新世代の3次元 CAD は、開発プロセス、開発分業構造、開発者のスキルなどに広範囲に渡って根本的な変化を要請する潜在力をもっている。それは人間作業を部分的に効率化するための単なるツールとしてでなく、製品開発マネジメントの新しいあり方を指し示す中核技術として位置づけられるものである。

本論文の目的は、日本の機械系製造企業 169 社から得られた質問票データをもとに、日本の製造企業における新世代の3次元 CAD の普及状況を全体的に把握し、導入に影響を与える要因と開発成果への影響を実証的に明らかにすることにある。

以下第2節では、新世代3次元 CAD の特徴、普及状況、新製品開発プロセスへ与える潜在的影響を外観することから始める。第3節以降は、質問票調査に関する報告を行う。第3節で調査の方法を説明した後、第4節では日本の製造企業における3次元 CAD の普及の現状を報告する。第4節では、3次元 CAD の導入に影響を与える組織的要因の分析を行う。第5節では、3次元 CAD 導入の開発成果への影響を分析する。

2. 新世代3次元 CAD の普及と製品開発プロセスへの影響

2.1 新世代 CAD の出現と普及[2]

広義の機械系3次元 CAD は 1970 年代に宇宙防衛産業で実用化され、1970 年代末から 1980 代にかけて、航空機、自動車、造船などの業界で民生用利用が進んだ。しかし 1980 年代までの旧世代3次元 CAD は、立体の輪郭線のみを定義する（ワイヤーフレーム）か表面の曲面を定義する（サーフェス）ことに限られた技術であり、立体内部の情報をデジタルデータとして定義することはできなかった。またモデル作成に手間がかかり、複雑な形状となると線が入り組んでしまい製品形状を把握するのが難しいという問題があった。それゆえ、製品設計の主力ツールとしてではなく2次元図面を補完するために利用されることがほとんどであった。

それに対して 1980 年代の末、立体の内部構造をデータとしてもつソリッド・モデラーと呼ばれる新世代の3次元 CAD が商品化された[3]。ソリッド・モデラーの多くは、立体の形状を自律的に保つフィーチャ

---

[2] ここでの既述は、竹田 (1999) をもとにしている。

[3] 本論文ではこのソリッドモデラーのことを新世代 CAD と定義する。本文中では、新世代 CAD もしくは3次元ソリッドという表現を使うこととする。

ャー機能と立体のパラメーターを数値で入力することで変形できるパラメトリック機能を備えていた。立体同士の足し算や引き算を行うことで形状を変化させたり、複数の部品を組み合わせたり、部品間の干渉のチェックまで、コンピュータの画面上で仮想的に行うことができるようになった。ソリッド・モデラーの登場によって、直観的にわかりやすい製品像をみながら、基本となる立体を組み合わせてパラメータを変化させることで製品を形作っていくという本格的な３次元設計が可能になり始めた。

初期のソリッド・モデラーは、形状作成上の制約が多くて使い勝手が悪かったためなかなか普及しなかった。しかし 1990 年代中旬頃からこうした状況は改善されてきた。旧世代の3次元 CAD を供給していた大手の CAD ベンダーが揃ってソリッド・モデラーを発表して、製品機能の改良が加えられたためである。また、クライスラーのネオンやボーイングの 777 などソリッドモデラーを全面的に利用して成果をあげた事例が紹介されたことも普及を後押した。現在では自動車、家電、情報通新機器、光学機器、造船、工作機械など電子・機械系の大手アセンブリーメーカーのほとんどが、新世代 CAD の実用や実験を始めている。

2.1 新世代 CAD の特徴と新しい製品開発プロセス

新世代 CAD の登場によって初めて製品を構成する全ての部品・ユニットを3次元のデジタルデータとして定義することが現実的になった。製品設計のフルデジタル化である。それは、従来の製品開発あり方に次のような変革をせまる可能性をもっている。

第1に、新世代3次元 CAD は製品開発における情報転写プロセスを極端に簡略化する潜在力をもっている。その結果として、開発分業構造に大幅な変更を迫るかもしれない。製品開発は、製品コンセプトに内包された情報がスケッチとして描かれ、設計図へと具現化され、それがさらに金型や治工具へと転写されるといった一連の情報転写プロセスととらえることができる（藤本・クラーク、1991）。その情報転写の精度が製品の品質に影響を与える。例えば、従来であれば、家電製品の筐体のエッジの曲面の詳細形状を2 次元図面で正確に表現するのは難しかった。したがって設計者はその部分を曖昧なまま残し、金型設計や製造の段階で金型設計者や金型メーカーとの調整を通じてイメージをすりあわせるというようなことが行われていた。２次元をベースとしている限り、工業デザイン、製品設計、金型設計が整合的であるという保証はない。それゆえ異なる設計ステージにまたがる情報転写の正確性を確保するための組織プロセスが最終的な開発成果に大きな影響を与えることになる。こうした組織的やりとりが日本企業の競争力の源泉であるともいわれた。

しかしながら、設計情報が3次元ソリッドモデルとして定義されると、設計情報の曖昧性はほとんど存在しなくなる。原理的には、伝達ロスなしで設計情報が上流から下流へと送られる。したがって、設計情報の解釈やすりあわせを目的とした組織的なやりとりは不要になる。さらに、３次元形状の厳密な定義が可能になると、全ての設計情報を3次元データとして一元化することが現実的となる。従来は、設計情報が各部門によって独自の方法で作成・蓄積される傾向にあった。例えば、解析用には別途データを作

作成しなければならなかったし、金型設計図や治工具設計図も設計図面を参照して独自の要件を盛り込みながら新たに作られていった。それが新世代3次元CADによって厳密な製品定義が可能になると、必ずしも各部門に最適化された独自の方法でデータを作成したり蓄積したりする必要がなくなる。設計部門内ではもちろんのこと、設計、実験、生産など機能分野が異なっても同じデータを共有することが可能となる。開発にかかわる様々な部門が同じ設計データを共有するということは、部門間で行われていた情報転写作業を極端簡略化できるか、そもそも必要なくなることを意味している。

第2に、新世代3次元 CAD の導入によって設計活動の同時並行化が押し進められる。それは2つのルートによって可能になる。第1のルートは、設計情報のフレキシビリティによる設計、試作、解析の同期化である。第2のルートは、3次元 CAD の高度なメディア機能によって従来は不可能であった協同作業が可能になることである。

デジタルデータとして定義された製品情報は、相対的に低いコストで、様々に組み合わせたり、変更や修正を行うことができる。こうしたフレキシビリティが可能にする新世代 CAD の主要な機能の1つがデジタル仮想組立である。3次元データとして定義された部品を仮想的に組み合わせてコンピュータ上で製品試作をおこなう機能である。仮想組立の効果は試作コストの削減だけではない。通常、試作型の作成には多大な時間がかかり、試作図面を完成する前に実際の試作をすることは難しい。しかし仮想組立を利用すれば、設計の途中段階であっても、できあがったところから部品図面を組み合わせて、いつでも製品全体の整合性を検討することができる。そこでは、設計から試作へと段階的に流れていた開発プロセスが、設計と試作が同時並行的に進むプロセスへと転換される。

さらに、設計情報のフレキシビリティは設計段階での同時並行的な解析を容易にする。従来は、2次元の設計データをもとに解析用の3次元データを新たにつくり、専門の解析技術者が解析をおこなって、その結果を設計者にフィードバックしていた。しかし製品情報が3次元データとして定義されると、そのデータを使ってそのまま解析に使うことができるようになる。したがって、設計者は設計をしながら同時並行的に構造解析や性能解析を行うことができるようになる。

このように、新世代 CAD の導入によって、設計、解析、試作と流れる開発サイクルが、3つの活動が同時並行的に流れるように転換される。しかしそのことは一方で、設計、解析、試作というように分かれていた専門性を根本から変革することにもつながる。設計者が、解析や試作までも取り込むこともあり得るし、また逆に試作エンジニアが設計を取り込むような形で再編されることもありえるであろう。いずれにせよ従来の分業構造や専門性の定義に変革をもたらす可能性がある。

開発活動の同時並行化は、新世代 CAD のもつ高度なメディア機能による共同作業の変革を通じてもおきる。新世代 CAD で設計することにより、誰にでも理解可能な3次元ビジュアル映像として製品情報を映し出すことができようになる。3次元のものを3次元で表現できるため直観的に理解を与えることができる。2次元の設計図面をみただけでは内容を理解できなかった設計の素人であっても製品イメージを共有することができるようになる。従来は、例えばマーケティングやカスタマーサービスの人が、設計の

の初期段階に設計図面をみて製品の使い勝手を評価するというようなことは難しい。製品評価は技術サイドのエンジニアが行うことが多くならざるを得ない。しかし設計情報が3次元映像としてビジュアル化されれば、設計のどの段階であっても、様々な人々が製品評価に関する意見を述べることができる。また、新世代 CAD は製品形状だけでなく、大きさ、質量、部品相互の関係、動作など製品の様々な属性を表現することが可能である。製品に関して人々が議論する上での手がかり情報を多く与えてくれる。

こうした特徴によって、設計の初期段階から、金型設計、治工具設計、製造、マーケティング、カスタマーサービスなどの下流行程、さらにサプライヤーや顧客までも含めた様々な人々が一緒になって意見を言い合い、設計図（データ）に多様な視点を盛りこむことが可能になる。

このように開発の初期段階から下流行程の要件を設計に盛り込むことが可能になることも、従来の分業構造や専門性へ影響を与える可能性がある。例えば、設計者は初期段階から製造要件や金型要件を盛り込む設計を行うようになる。それが最も効果的なのは、設計者自身が製造や金型行程に精通している場合である。もしくは金型や製造エンジニアの人たちが自ら設計を手がけてしまうような時である。いずれの場合にも専門性の拡大、それに伴う分業構造の変革が必要となる。

以上議論してきたように、新世代3次元 CAD によって、製品情報全体がデジタルデータとして厳密に定義できるようになると、理論的には様々な効果が期待できる。情報転写プロセスが簡略化され同時並行的な開発が進めば、開発工数やリードタイムの削減につながると同時に転写ロスの削減による製品品質の向上も見込める。３次元映像を共有して様々な視点が取り込まれれば新しいイノベーションに結びつく可能性もある。しかしながら同時に、新世代の３次元 CAD のこうした効果を得るために、従来の組織構造・分業構造、スキル・専門性の範囲を大幅に変更する必要があるかもしれない。新世代 CAD 導入の効果は、部門や企業の壁を越えて、開発プロセス全体の見直しをはかることによって初めて実現されるという側面がある。そうした見直しは、組織内での抵抗にあうかもしれない。新世代 CAD の導入は既存部門に均等に便益を与えるわけではない。一般に、データを新たに作る必要のなくなる試作や金型設計には歓迎されるかもしれないが、負荷が増大する設計部門には敬遠されるかもしれない。３次元 CAD による開発はデータの一元化が行われたとき最も大きな効果があると考えられる。しかし各部門ごとの主導で導入が進められると、部分最適化がすすみ全体的で一元的な導入の妨げになるかもしれない。

以下の質問票分析では、3次元 CAD の効果とともにこうした阻害要因（もしくは促進要因）を実証的に確認することに重点がおかれている。具体的に以下で展開される質問票分析では次の３つの問いに対応している。

⑴ 3次元 CAD とくに新世代の３次元 CAD は日本企業の間でその程度普及しているのか？
⑵ 3次元 CAD の導入を妨げる（もしくは）促進する要因はどのようなものか？
⑶ 3次元 CAD は製品開発成果にどのような影響を与えるか？

⑴ は第4節で、⑵ は第5節で、⑶ は第6節で分析が進められる。分析に入る前に調査概要の説明から始めよう。

3. 調査方法

日本企業における ⑴ 3次元 CAD の普及状況、⑵ 3次元 CAD 導入に影響を与える要因、⑶ 3次元 CAD の開発成果への影響を把握するために質問票調査をおこなった[4]。上場機械系企業全社および店頭公開企業・未上場企業からの無作為抽出による 84 社が選択された。事業部制を採用している企業に関しては事業部へと、特に売上高が1兆円を超える上場企業については複数の主要事業部門へと発送された。質問票は、1998 年 11 月 27 日に製品開発関連部署の責任者宛に発送され、同年 12 月 11 日締め切りとして回収を行った。合計 700 票の質問票が発送され、169 社・部門から回答が得られた。回収率は 24.1%であった。産業分野別の質問票の回収状況は以下の表1に示されている。一般機械と精密機械企業からの回答が相対的に多いものの、特定の業界に大きく偏ったサンプルではないことがわかる。

表1：質問票の回収状況

	発送数				回収数				回収率%
	上場企業	未上場企業	合計 a	構成比	上場企業	未上場企業	合計 b	構成比	b/a
一般機械	209	51	260	34.1	62	12	74	43.8	28.5
電気機械	259	8	267	38.1	51	0	51	30.2	19.1
輸送機械	116	17	133	19.0	21	4	25	14.8	18.8
精密機械	32	7	39	5.6	7	4	11	6.5	28.2
不明	0	0	0	0.0	na	na	8	4.7	na
機械産業合計	616	84	700	100.0	149	20	169	100.0	24.1
(構成比)	88.0	12.0	100.0	-	88.2	11.8	100.0	-	

質問票は大きく分けて2つの部分から構成されている。前半は、全社もしくは事業部全体レベルでの CAD 導入の現状に関する質問である。それに対して後半部分では、CAD の使用という点で最も先進的な特定の新製品開発プロジェクトを1つ選択してもらい、そのプロジェクトに絞って、CAD の使用実態や導入効果に関する質問をした。導入効果という点では、選択された製品開発プロジェクトと同種の製品を開発した過去のプロジェクトを選択してもらい、その「過去の」プロジェクトと「現在の」プロジェクトとの成果の比較を質問した。

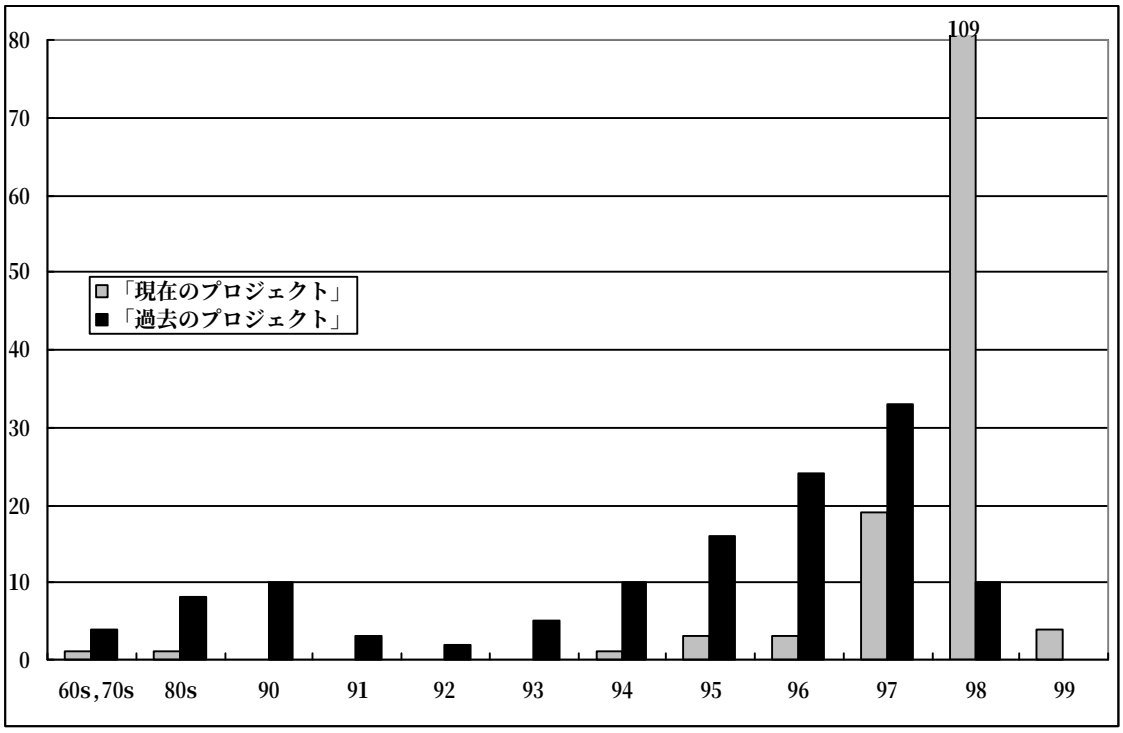
[4]質問票の内容や質問票データの要約に関しては、機械工業経済研究報告書「製品開発における3次元CAD利用

選択されたプロジェクトが開発した製品の種類は表 2 にプロジェクトの終了年次の分布は図 1 に示されている。

表2：CAD 使用という点で先進的として選択された「現在のプロジェクト」の開発製品

	(N=138)
自動車	7%
自動車部品	8
その他輸送機器	3
消費者向けエレクトロニクス・機械製品	12
産業用・ユニット・設備	53
部品	12
その他	1
無回答	8

図1：選択されたプロジェクトの終了年次の分布



以下の分析で、「全社・事業部レベル」といった場合には、全社もしくは事業部全体での CAD 導入に関する質問に対する回答に対応し、「プロジェクトレベル」といった場合には、CAD 利用という点で最も先進的なプロジェクトに関する質問に対する回答に対応している。

用の現状に関する調査」を参照のこと。

4. CAD の普及と利用の実態

4.1 全社・事業部レベルの普及実態

質問票では各社・各事業部における CAD の導入時期を2次元CAD と3次元CAD に分けて質問した。その結果をもとに描いた普及曲線が図2である。2 次元 CAD は 80 年代に入り急速に普及し、現在では回答企業のほとんどに導入されていることがわかる。1980 年には 10%しかなかった普及率が 1990 年には 80%まで上昇している。この急速な普及段階は 90 年代初盤に終わり、その後は緩やかに 95%まで上昇している。残りの5%の中には、2 次元 CAD を導入することなく 3 次元 CAD のみを導入した企業も含まれているため、調査時点では、ほぼすべてのサンプル企業で CAD が導入されていると言える。

一方 3 次元 CAD は回答企業の 65%に導入されている。1992 年までは、普及速度が極めて低く、80 年代初盤から 10 年以上かけて普及率は 20%までにしか上昇していない。それが 1993 年に入って急速に普及し始めた。3次元 CAD は現在もまだ急速な普及段階にあると考えられる。

2 次元 CAD と 3 次元 CAD の普及曲線の形状は類似であり、その差異は約 10 年間であることがわかる。例えば、普及速度が上昇し始めたのは、2 次元 CAD では 1982-1983 年だが、3 次元 CAD では 1992-1993 年である。50%の普及率に到達したのも、それぞれ 1987 年と 1997 年であり 3 次元 CAD の普及の方が約 10 年遅れていることがわかる。2 次元 CAD と同様の普及曲線形状を描くとすれば、3 次元 CAD の普及率が 90%を超えるのは 2003 年位であると予測される。

図2 CAD の普及曲線 (N=162)

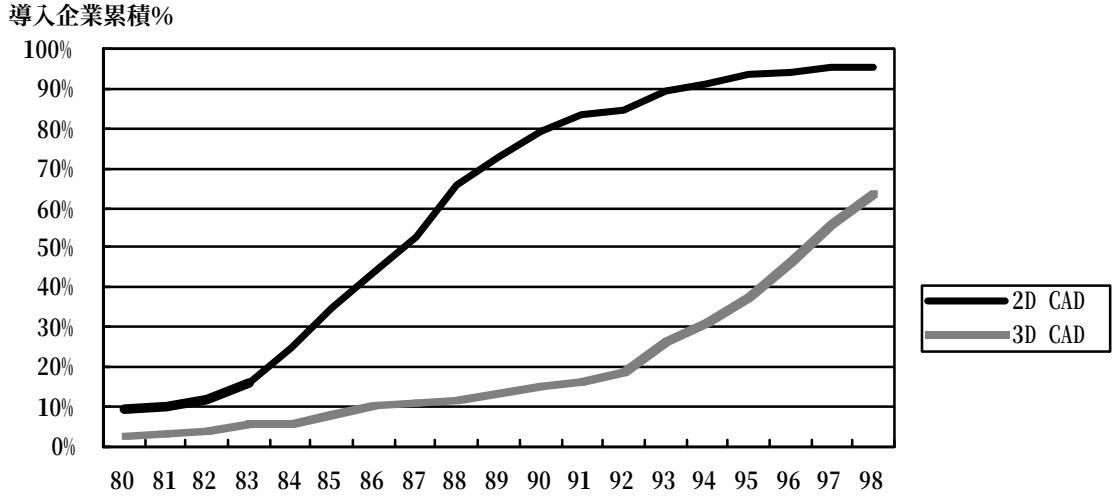


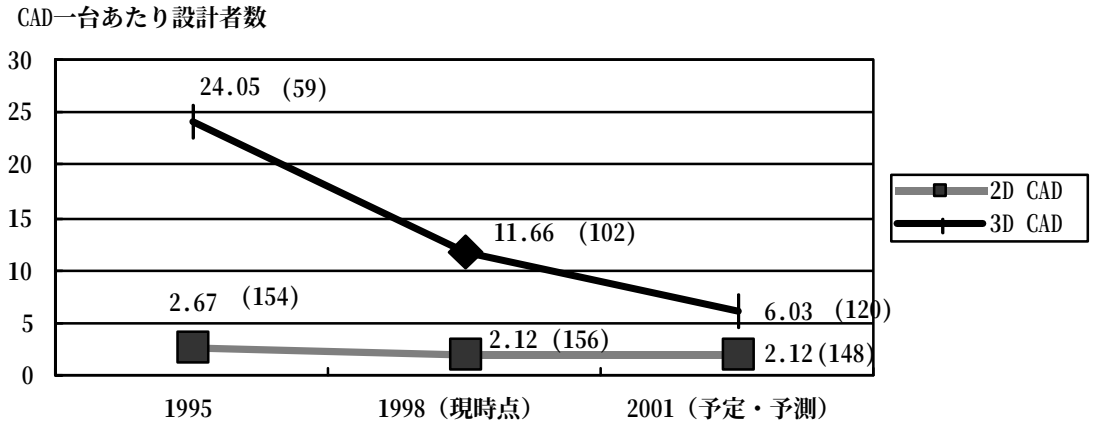
図3は、CAD ターミナル1台あたりの設計者数の推移という点からみた場合の普及状況を表している。CAD を導入をしていない企業は除外されている。括弧内の数字は回答企業数であり、その時点で

で CAD を導入していた企業数とほぼ一致すると考えられる。CAD ターミナル1台あたりの設計者数は回答企業の平均値である。

2次元 CAD の普及は 1995 年時点でほぼ終了したと考えられ、その後ターミナルあたりの設計者数はあまり減少していない。1995 年に1台あたり 2.67 人であった設計者数は、1998 年現在では 2.12 人/台へとわずかに減少しただけであり、3 年後（2001 年）については現状の 2.12 人/台から全く変化しないと回答している。このことから、1台あたり2人というのが飽和状態であると考えられる。

一方、3 次元 CAD のターミナル数は現在急速に増加している段階であり、3 年前の 24.05 人/台から現状の 11.66 人/台にまで、ターミナル 1 台あたりの設計者数は半減している。さらに、3 年後にはこれがさらに半減して 6.03 人/台となると回答している。しかしながら、2 次元 CAD の場合には CAD ターミナル1台あたり 2 人というのが飽和状態であったことからすると、3 年後でもまだ3次元 CAD の十分な普及にまでは至らないと予測される。

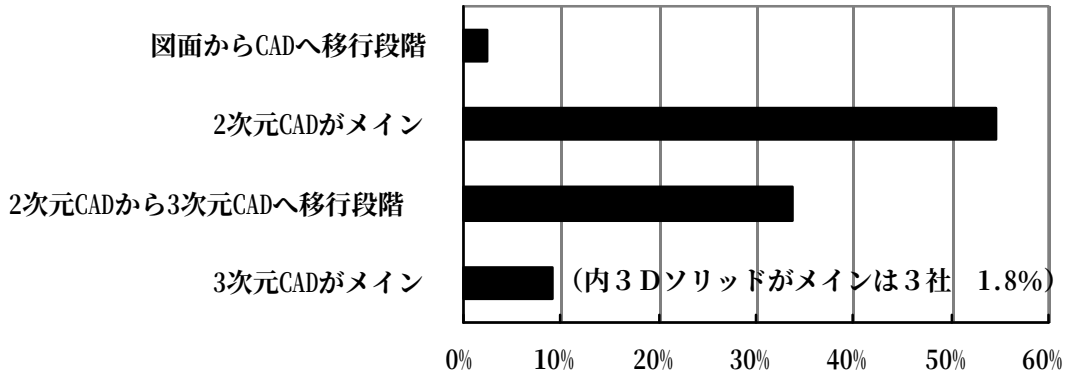
図3：CAD ターミナル一台あたりの設計者数（N=156：カッコ内は回答企業数）



回答企業の 65%が既に 3 次元 CAD を導入しているが、CAD を導入しているということと実際に製品開発や設計業務に使用していることとは別の問題である。図4は、CAD の使用実態を段階で表したものである。この図から、3 次元 CAD をメインの設計ツールとして使用している企業は、10%にも満たないことがわかる。しかも、新世代 CAD であるソリッド・モデラーを製品開発の主力ツールとして使用していると回答した企業はわずか 3 社（1.8%）であった。

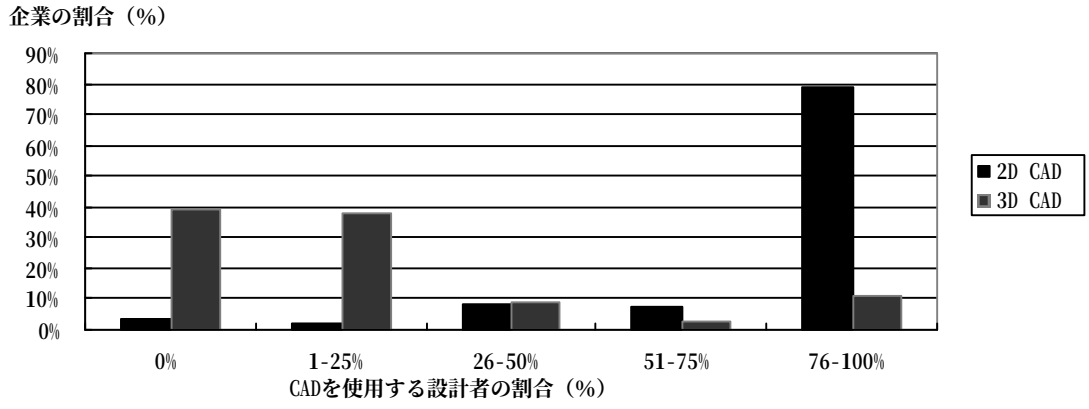
55%の企業は 2 次元 CAD をメインに使用し、開発・設計プロセスはそれで安定していると回答している。これらは、企業もしくは事業部全体としては、3 次元 CAD への移行段階にもない企業である。現在、2 次元から 3 次元へ移行する途中段階にあるとした企業は 33%である。しかしこれらも現段階では 2 次元 CAD を主力として利用している企業であり、全体として 90%近い企業が2次元 CAD を主力ツールとしている。

図4：CAD 使用の段階 (N=163)



同様のことは、3次元 CAD を実際に使用している設計者の割合をみてもわかる。図5は、CAD を使用する設計者の割合をあらわしている。2次元 CAD に関しては、75%以上の設計者が利用していると答えた企業が約 80%であった。3次元CAD の場合には、設計者が全く利用していない例が全体の 40%弱あった。これは前出の普及率のデータとほぼ一致してはいるが多少のズレがある。ズレの部分は、導入はしたけれども設計者が全く利用していないケースと考えられる。3次元 CAD を既に導入している残りの企業についても、実際に3次元 CAD を利用している設計者の割合は極めて低い。25%以下の設計者しか 3 次元 CAD を使用していない企業が全体の 40%近くにのぼっている。それに対して半数以上の設計者が 3 次元 CAD を使用している企業は 10%強にすぎない。この値は図4に示した 3 次元 CAD を設計の主力ツールとしている企業の割合とほぼ同じである。

図5：CAD を使用する設計者の割合 (N=162)

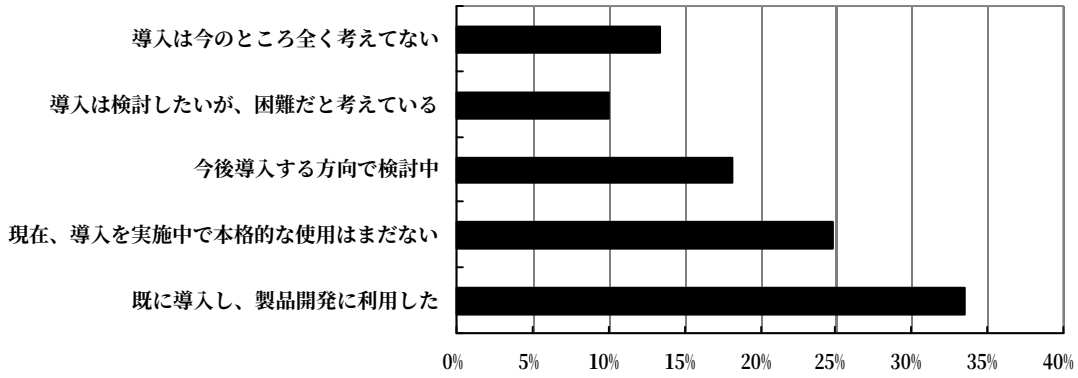


このように、ほとんどの企業では2次元 CAD が主力ツールとなっているが、個別の製品開発では新世代3次元 CAD を使用している例も増えている。図6には3次元ソリッドモデラーの導入状況が表されている。3次元ソリッドを導入して既に実際の製品開発に使用した企業は、149 社中 50 社 (33%) にのぼっている。既に導入を実施中であるがまだ実際の製品開発では使用していないと回答した企業が 25%、

導入を検討中と回答した企業が 18%となっている。これらをすべて合計すると、76%の企業で、既に導入したか、または少なくとも積極的に導入を考えていることになる。3次元ソリッドは製品開発のメインのツールとしてはまだ普及していないが、多くの企業が積極的な採用を進めている段階にあると考えられる。

以上の分析からは、3次元 CAD を導入している企業は 65%にもおよび実際に製品開発を行っている例も3割以上みられる一方で、全社的には2次元 CAD が圧倒的に主流であり、3次元 CAD で設計を行っている設計者はまだごくわずかであることがわかる。これは、3次元 CAD が個別の製品開発プロジェクトごとに徐々に導入されており、利用は特定の設計者に限定されており、3次元設計の環境への全社的な移行を一気に押し進めているのではないという姿がうかがえる。これは3次元 CAD の導入プロセス・組織と関係する関していると考えられる。この点の分析は5節で行う。

図6：3次元ソリッド CAD 導入の現状 (N=149)

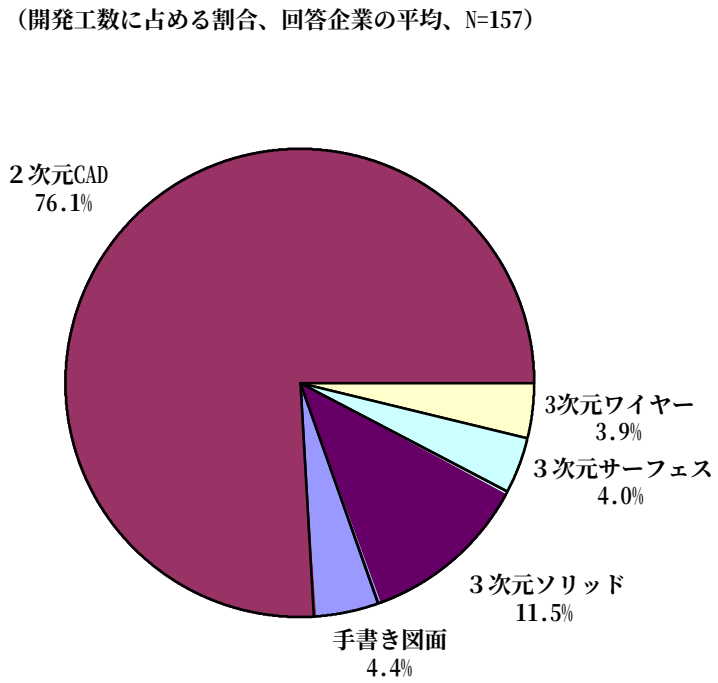


4.2　　プロジェクトレベルでの普及と利用実態

4.1 では全社・事業部レベルでの全体的な普及の実態をみてきた。それに対してここでは各社における特定の製品開発プロジェクトに焦点をあてて、一連の製品開発プロセスの中でどの程度3次元 CAD が利用されているのかをみていこう。ここで焦点を当てているプロジェクトは、第3節で説明したように、各社・各事業部で CAD 利用という点で最も進んだプロジェクトとして選択されたものである。

図7は、手書き図面、2次元 CAD、3次元ワイヤーフレーム、3次元サーフェス、3次元ソリッドの各設計手法がどの程度利用されたのかを、設計工数にしめる割合で表したものである。数値は回答プロジェクト全体で平均したものである。全体として、2次元 CADの割合が圧倒的に高く、76.1%となっている。新世代3次元 CAD であるソリッドは11.5%の割合で使われている。旧世代の3次元 CAD に比べて利用割合が高くなっている。

図7：設計工数に占める各設計手法利用の割合



各設計手法の使用割合を細かく表したのが図8である。手書き図面を全く用いていないプロジェクトは 157 プロジェクト中 117 プロジェクトにのぼり、設計工数の 50%を超えて利用しているのはわずか2プロジェクトである。それに対して、2次元 CAD で 100%設計を行っているプロジェクトは64 プロジェクトあり、設計工数の 90%以上を占めるプロジェクトが全体の 6 割を越える。何らかのかたちでワイヤフレームの 3 次元 CAD を利用しているのは 16 プロジェクト、サーフェスは 19 プロジェクトにすぎないのに対して、ソリッドの 3 次元 CAD を利用しているのは 43 プロジェクトある（27%）。また設計工数の5割以上を3次元ソリッドで設計しているプロジェクトは 17 プロジェクトあり、全体の 10%を越えている。前節の分析では、3次元ソリッドを主力ツールとして利用している企業は3社しかなかった。したがって全社としては主力ツールでないが特定のプロジェクトでは主力ツールとして利用しているケースが 14 社あることを示している。

図8：各設計手法の利用割合の分布

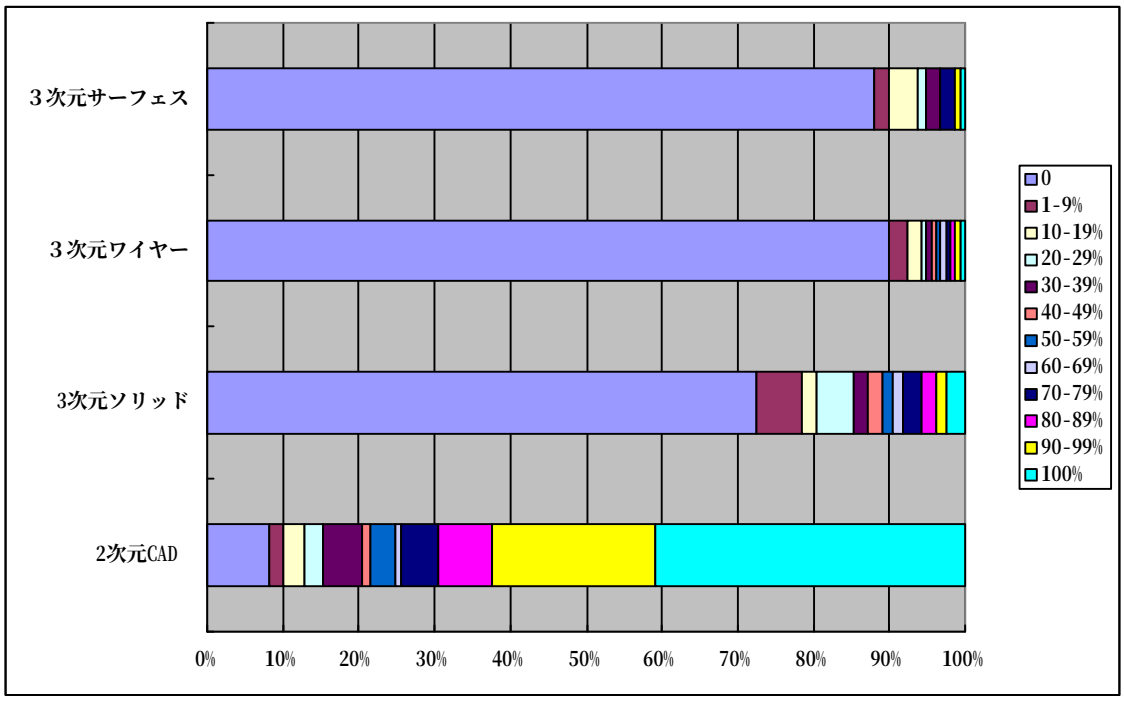
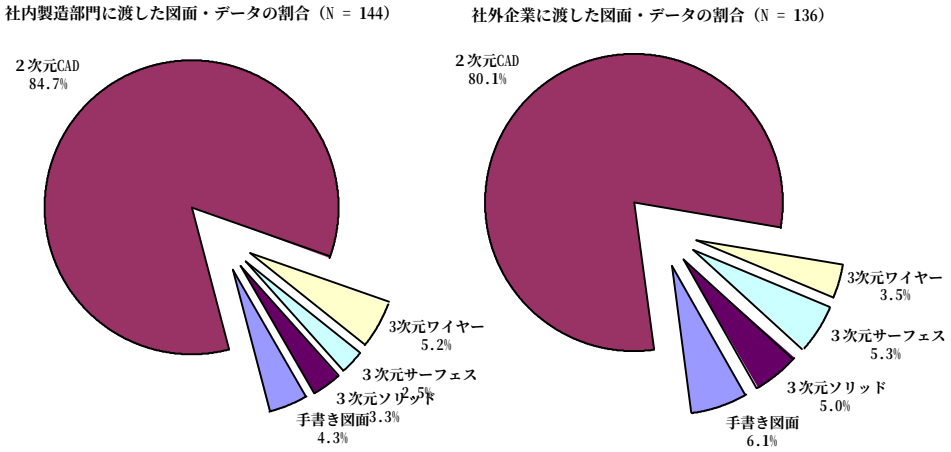


図９には、社内製造部門と社外企業へ送られた図面・データの内訳を表している。製造部門に渡される３次元データの割合は 11%であり、３次元設計の割合である 20.8%より低くなっている。特に３次元ソリッドによる設計は 12.8%あったが、製造部門へソリッドデータとして引き渡された割合は 3%にすぎない。これは３次元で設計したとしても、必ずしも製造部門へ３次元データを送っているわけではないことを示している。製造部門へは２次元で送られ製造部門では新たに３次元データをつくるということが行われている可能性が高い。また社外企業（サプライヤーなど）へ図面・データに関しては、14%が３次元データとして渡されている。ソリッドは 5%である。これも設計での利用比率と比較すると低くなっている。

図9：社内製造部門と社外へ送られたデータの種類



4.3　プロジェクトレベルでの３次元 CAD の利用

次に3次元 CAD を実際に利用したプロジェクトに焦点をあてて、利用の状況をみていこう。以下の分析のために、３次元 CAD（ワイヤーフレーム、サーフェス、ソリッド）を設計工数の１％以上利用しているプロジェクトを「3次元 CAD 利用プロジェクト」、それ以外のプロジェクトを「3次元 CAD 未利用プロジェクト」と定義する。また3次元 CAD 利用プロジェクトの中で、相対的に新世代 CAD（ソリッドモデラー）を利用しているプロジェクトとして、ソリッドが設計工数の 20%以上をしめるプロジェクトを「ソリッド活用プロジェクト」と定義する。

図 10 は、以前行われた同種のプロジェクトと比較した場合の、３次元 CAD 設計の利用割合の変化を表している。３次元 CAD 利用プロジェクトの 95%において、３次元 CAD の利用比率が増加している。ソリッドの利用が増加したケースが 70%、ワイヤーフレームもしくはサーフェスのみが増加したケースが 20%であり、近年の3次元 CAD 利用の増加の多くはソリッドの利用増加であることがわかる。また、ワイヤーの利用割合が減少したのは 10%、サーフェスが減少したのはわずかに 1%であり、近年の3次元 CAD の普及は旧世代３次元 CAD から新世代３次元 CAD へと代替された結果ではなく、むしろ新世代3次元 CAD の登場によってこれまで普及しなかった3次元 CAD が急速に普及し始めたといえそうである。実際にワイヤーもしくはサーフェスの使用割合が減少してその代わりにソリッドが増加した例は２プロジェクトしかなかった。

図 10：3次元 CAD 利用割合の変化

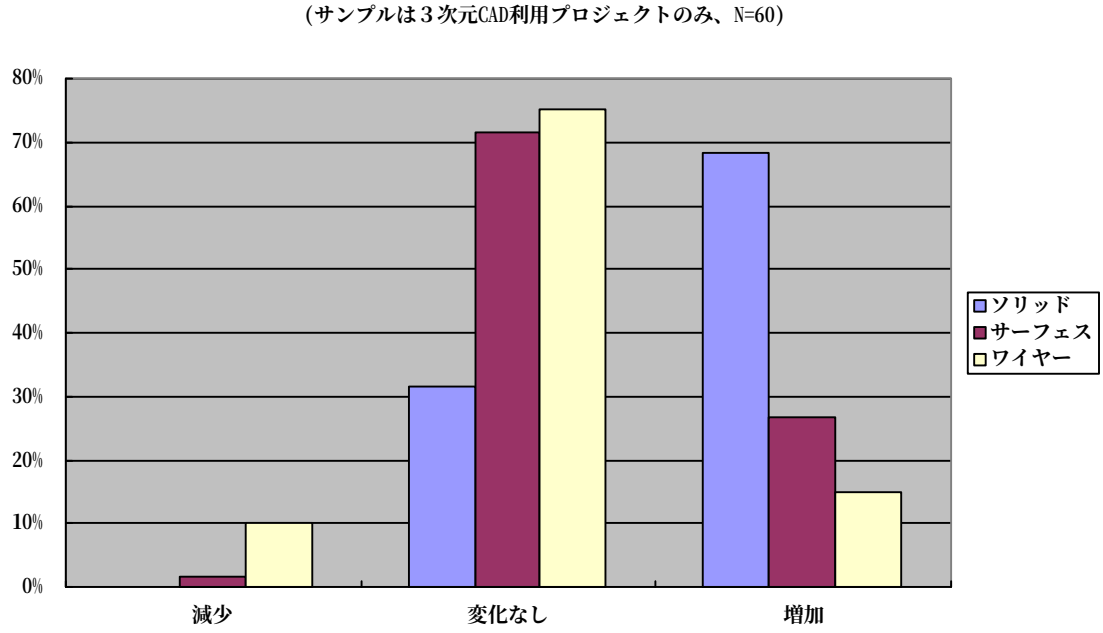
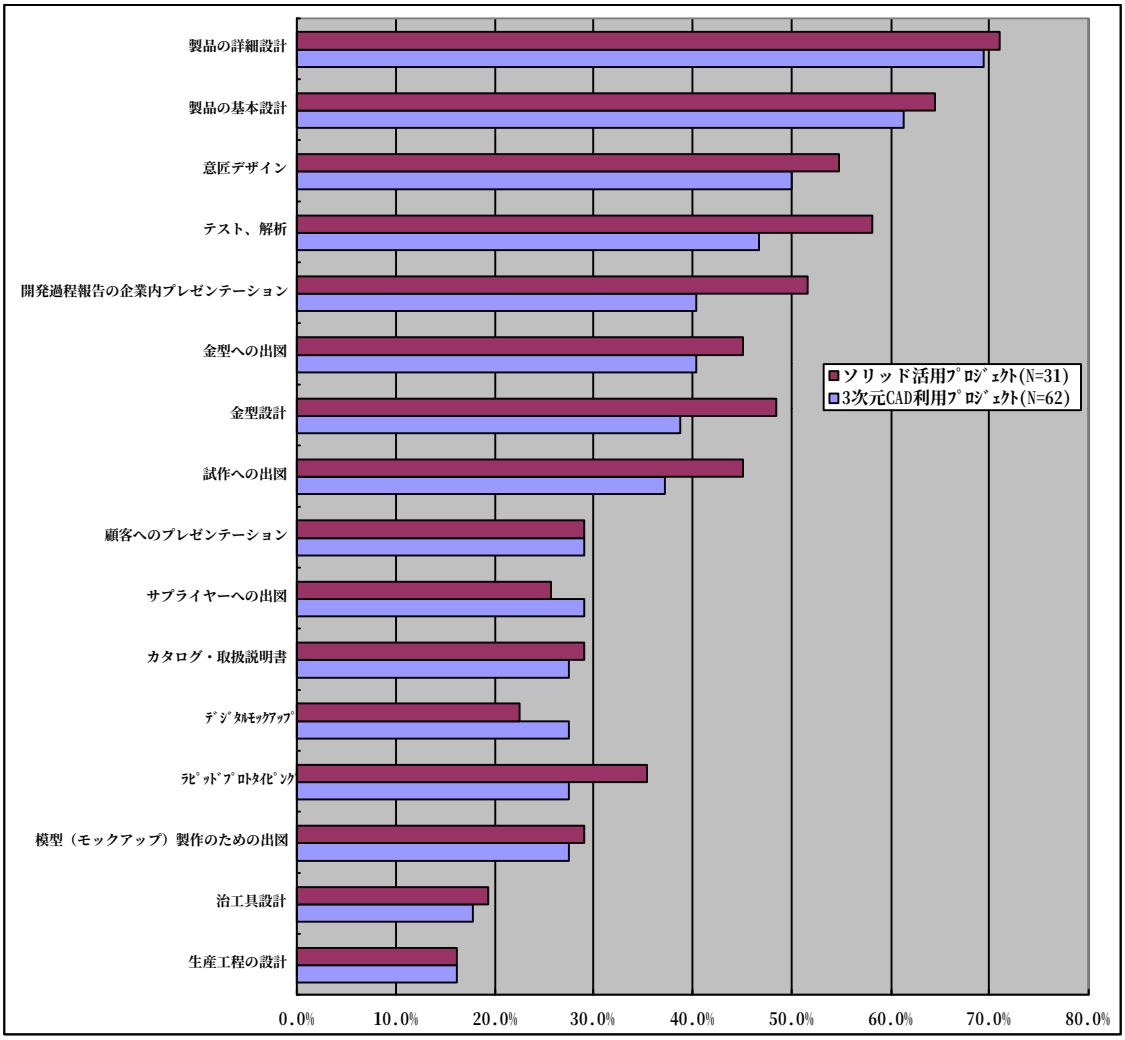


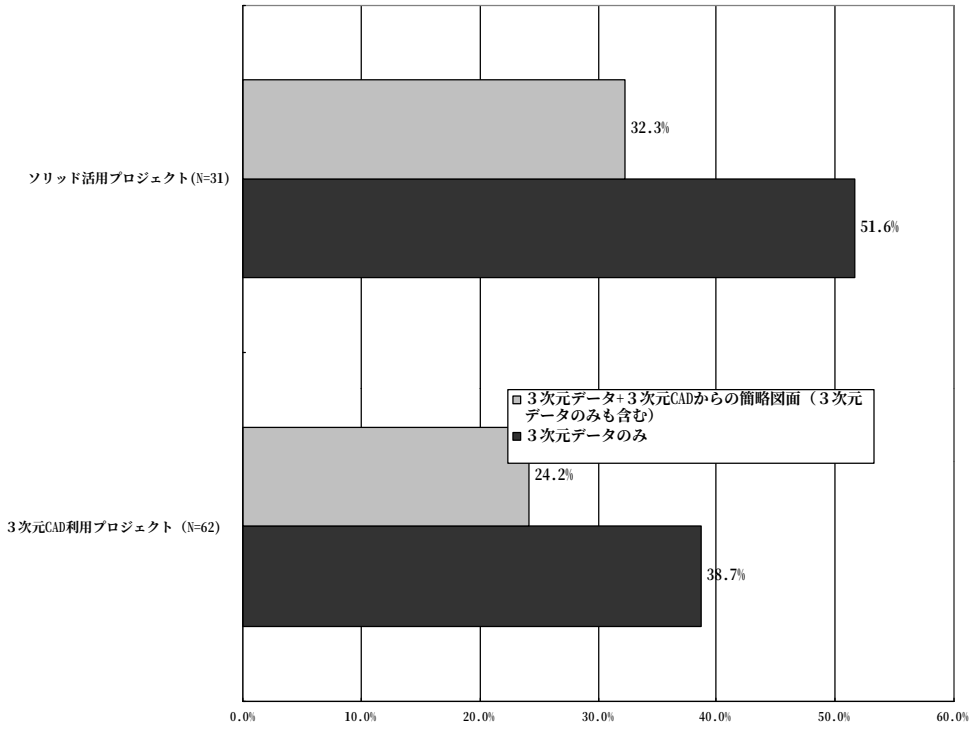
図 11 は、3次元 CAD 利用プロジェクト（N=62）とソリッド活用プロジェクト（N=31）のそれぞれが、製品開発工程のどの段階で3次元 CAD を利用しているのかをあらわしたものである。3次元 CAD 利用プロジェクトの 50%以上が利用している行程は、製品の詳細設計、基本設計、それに意匠デザインである。ソリッド活用プロジェクトの場合にはこれらに加えて、テスト・解析、開発過程報告の企業内プレゼンテーションが加わっている。ソリッド活用プロジェクトの特徴としていえることは、金型設計や試作、テスト・解析において3次元 CAD が利用されており、試作や金型への出図において3次元データが利用されていることである。ソリッドモデラーによって製品データが一元化されるため、試作行程や金型行程で設計の3次元データを直接利用できるようになってきていることを示している。

図 11：3次元 CAD が使用されている開発工程



3次元設計が行われていることと、最終の正式データが3次元であることとは必ずしも同じではない。3次元データが最終の正式データとして扱われている比率は、3次元 CAD 利用プロジェクト全体においては 23.7%であり、ソリッド活用プロジェクトに限ると 33.3%となっている。また、3次元データから簡略的に図面を出してそれを正式図面とするケースを含めると、3次元CAD 利用プロジェクトでは39.0%、ソリッド活用プロジェクトの 53.3%が3 次元データと一貫性のある正式図面を・データを残している（図12）。

図 12：正式図面のタイプ



5. 新世代3次元 CAD の導入に影響を与える要因

以上3次元 CAD の普及、導入状況を全社・事業部レベルと個別プロジェクトレベルに分けてみてきた。これまでの分析でわかったことの1つは、「3次元 CAD を導入もしくは導入を真剣に考えている企業は多く、特定のプロジェクトでの部分的な採用は行われているが、3次元 CAD 特に3次元ソリッドを主力ツールとして設計開発を行っている企業はごくわずかであり企業・事業部全体での全面的な利用には至っていない」ということである。

第2節では、新世代3次元 CAD の特質を述べるとともに、導入に際しての問題点も指摘した。その議論を受けて本節では、3次元 CAD の本格的で全体的な利用にまで至らない組織的な要因を確認するための分析を行う。

3次元 CAD の導入に影響を与える要因を分析するために、3次元ソリッドを既に製品開発に利用したことのある企業（事業部）50 社を「早期採用企業」として、それ以外の企業と比較することにした。早期採用企業 50 社は図4で「既に導入し、製品開発に利用した」と回答した 50 社である。早期採用企業とその他の企業との間に何らかの差異がみられるのであれば、それが導入を促進もしくは阻害する要因と関係ある可能性がある。

5.1　導入目的の違い

まず3次元 CAD を導入するときの企業の目的意識の違いをみてみよう。資料1には 3 次元 CAD 導入の目的として回答されたものを重要なものから順に示されている。それらの中で特に平均値が「重要な目的（4点）」以上であった項目は次の 6 項目であった。

（1）開発期間の短縮
（2）形状の矛盾（形状としてなりたたない、干渉など）をなくす
（3）製品品質の向上
（4）試作回数の削減
（5）開発工数（プロジェクト全体）の削減
（6）試作製作のスピードアップ

つまり、3 次元 CAD を導入することによって、(1) 開発期間と (5) 開発工数を同時に改善しながら (3) 製品品質も向上させたいというのが目的となっている。その方法としては、「3 次元で設計することによって、(2) 設計段階に発生する形状の矛盾をなくし、(4) 試作の回数を減少させること」を期待しているのがわかる。3 次元で設計すれば、形状の矛盾が明確になり、早い段階から完成度の高い設計が可能になるという設計ツールそのものの機能への期待が主体となっている。

しかし第2節で議論したように、3 次元 CAD は製品開発プロセス全体の効率を向上させるツールであり、設計部門内部での活動の効率化を追求しようとすると、必ずしも効率向上へ結びつくとは限らない。特に導入の初期段階では、設計工数自体は大幅に増加してしまい設計部門に多大な負荷がかかるのが通常である。3次元 CAD のような情報技術は、部門間や企業間の相互調整やコミュニケーションに影響を与え、開発の分業構造の変化を伴うときに、その効果が発揮される可能性が高いことは既に述べた。つまり、設計と試作に代表される設計ツールとしての機能向上だけでなく、製造部門や協力企業などを含めた、開発プロセス全体の同時並行化（コンカレントエンジニアリング）をより明示的に目的とする必要がある。もし設計効率だけを目的として導入を検討すると、その難しさが強調されて、結果的に導入が遅れる可能性がある。

この点を示唆するデータとして、早期採用企業と他企業の2グループ間での 3 次元 CAD 導入の目的における差異が表3に示されている。表には平均値の差の検定（t 検定）で10%以下の有意水準であったものだけが記載されている。これらの項目の中で特に注目されるのは、生産技術・製造部門・協力企業に早期にかつ正確にデータを送ることが早期採用企業では重視されている点である。さらに、同時並行化（コンカレントエンジニアリング）の促進も、早期採用企業の方が重要視している項目である。3次元 CAD 導入の目的として設計機能自体に関係する部分だけでなく、製造部門や協力会社との関係を広い範囲で考えて 3 次元 CAD の導入を検討している企業が、実際に早期に導入していると言えそうで

である。新世代3次元 CAD のスムースな導入のためには、設計部門内部での新しい設計ツールとして導入するのではなく、製品開発プロセス全体の変革を伴うものとして全社的に理解した上で進める必要があることを示唆している。

表3：早期採用企業の「目的」意識の特徴

	早期採用企業	その他企業
3 次元曲面の表現***	3.58	3.00
生産技術・製造部門・協力企業に早期にデータを送る***	3.78	3.29
生産技術・製造部門・協力企業に正確なデータを送る**	3.92	3.52
製品品質の向上**	4.32	4.02
製品のシリーズ展開を容易にする**	3.60	3.23
同時並行化（コンカレントエンジニアリング）促進*	4.00	3.68

*p<.1, **p<.05, *** p<.01（両側 t 検定）

（注）早期採用企業の方が低い点数を付けた項目で、統計的に有意な項目はない

5.2. 3次元CAD導入上の問題点

実際に新世代 CAD 導入上の問題点として各企業はどのようなことを感じているのであろうか。資料2には、導入上の問題点として指摘されたも項目を重要なものから順に並べて示してある。以下はそれらの中の上位5項目である。

（1）投資額が大きい
（2）メンテナンスやサポートにコストがかかる
（3）教育に時間とコストがかかる
（4）投資効果の測定が難しい
（5）設計者に新しいスキルが要求される

ここで重要な問題としてあがられている項目は、システムへの投資に関係するもの（1、2、4）と設計者のスキルとその教育に関係するもの（3、5）である。3次元ソリッドモデラーを1台導入するのには現在でも 1,000 万円以上の費用がかかる。さらに、サポートやバージョンアップを含めた維持コストも高い。その割に、7 番目に重要な問題点（資料2参照）として指摘されているように当初は「設計工数（主に図面・データの作成）がかえって増加する」という側面もあり、投資効果が測定しにくい。さらに、3 次元 CAD

CAD を活用するためには、設計者が新たにスキルを学習する必要があり、そのために時間とコストがかかる。また設計者の習熟度合を予測することが難しいことも、投資効果の不確実さを生み出している。全体としては、これらが3次元 CAD 導入上の問題として指摘されており、導入上の足かせとなっていると考えられる。しかし早期採用企業とその他の企業との間には、こうした3次元 CAD 導入上の問題点の認識においても差がみられる。

表4は、3次元 CAD 導入上の問題点として、早期採用企業とその他企業との間で、その重要度の認識に違いがみられ、平均値の差の検定で（t 検定）95%水準以上の有意性のあった項目を示している。

表4：早期採用企業の「問題」意識の違い

	早期採用企業	その他企業
各部門の業務分担のありかたを見直す必要がある***	3.56	3.07
人員の再配置が必要である**	3.34	2.91
設計部門（設計者）からの抵抗がある**	3.33	2.95
会社としての一貫した導入方針がない**	2.88	3.27
事業部としての一貫した導入方針がない**	2.66	3.04

**p<.05, *** p<.01（両側 t 検定）

ここで重要なのは、早期採用企業が「各部門の業務分担のありかたを見直す必要がある」および「人員の再配置が必要である」を他企業よりも重要な問題であると認識している点である。第2節で、新世代の 3 次元 CAD を導入しそこから効果を得るためには、組織構造や役割分担を変えなくてはならないことを指摘した。そのことを早期採用企業は認識している。一方その他の企業は、設計者個人がツールを習熟する難しさを強調しており、そのことは導入目的において設計機能の向上を特に重視していたことと一貫している。こうした認識の違いが生じるのは、実際に製品開発に利用してみることによって旧来の組織構造や分業構造とのミスマッチを発見したからであるとも解釈できるが、同時に組織上の問題に関する認識を強くもっていた企業の方が早期に導入を成功できているとも考えられる。

新しい CAD ツールのポテンシャルを引きだすためには設計部門や試作部門がそれぞれの能力を向上させるだけでは不十分であることは既に述べた。例えば、ボーイング社やクライスラー社などの米国企業における新世代 3 次元 CAD 活用の成功例を見ると、3次元 CAD のを導入することと並行して、既存部門の構造、役割分担、開発プロセス、および社外の協力企業との関係や業務プロセスを大きく変革している。そのような変革を実施できなければ、3 次元 CAD がもつ能力を十分に活用できないと考えたからである。

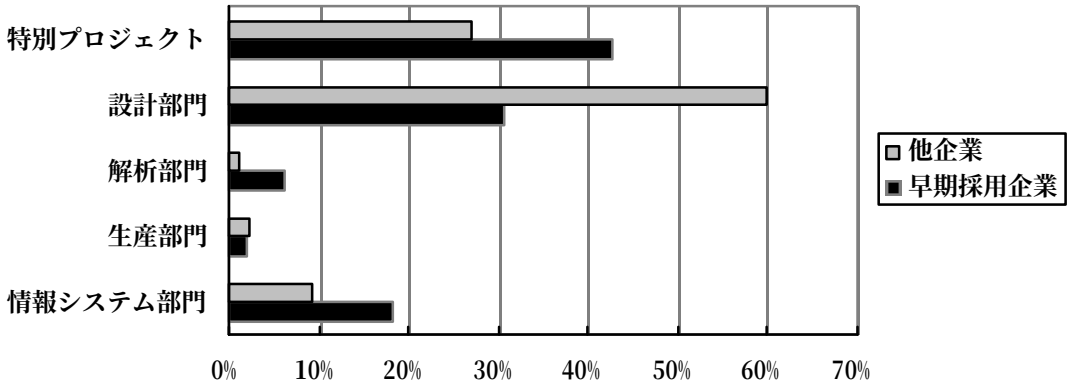
「設計部門（設計者）からの抵抗がある」という項目についても、既に製品開発に 3 次元 CAD を利用した早期採用企業の方が問題点として強く認識していることは興味深い。これは、単純に、使い慣れた２次元から新しい3次元 CAD へとツールが変更したことによる不満が予想以上であったとも考えられるが、３次元 CAD の導入と同時に、設計活動が前倒しになり、設計者に対する負荷が増大したことに対する不満が大きいとも考えられる。既に述べたように、3次元 CAD の導入は、全ての部門に対して均等な便益をもたらすわけではない。従来の組織枠組みのもとでは負荷の増える人と減る人がどうしても出てくる。開発プロセスが前倒しになり、初期段階での製品データの重要性が高まることを考えると、従来の役割分担からすると一般に設計者の負荷が高まる。そのことが問題点として指摘されてると考えられる。またそのことは逆に、設計部門から消極的な意見や反対意見が出たとしても、製品開発の全体的な効率の見地から導入を強力に推進した企業が早期に導入できたという解釈も成り立つ。実際に次節で紹介するように、早期採用企業の方が、全社的な見地から導入を押し進めているという事実がある。

そのことと関係して、3次元 CAD 導入上の問題点に関する早期採用企業とその他の企業との認識の違いとして、「会社や事業部としての一貫した導入方針がない」という項目がある。早期採用企業は、会社や事業部としての一貫した導入方針には、相対的に問題がなかったと答えている。一方その他の企業、つまり導入が遅れている企業では、全社的な導入方針が欠けていると回答している。3次元 CAD をスムーズに導入するためには各部門レベルだけはなく、全社・事業部レベルでの一貫した方針が必要であることを示唆している。3次元 CAD が開発プロセス全体、開発組織全体の変革を伴うことと整合的である。

5.3 導入組織

5.2 の分析は、3次元 CAD のスムーズな導入のためには、各部門別でなく全社的な意思決定として導入を推進する必要があることを示唆していた。その点に関連してここでは、3 次元 CAD がどのような組織的体制の下で進められているのかを、早期採用企業とその他の企業で比較した。その結果が図 13 に示されている。導入組織の差異は顕著である。早期採用企業の場合、設計部門などの個別機能部門ではなく、全社・事業部レベルでの特別プロジェクトが主体となって導入した例が 40%以上で最も多い。一方、その他の企業では設計部門が中心となった導入活動が約 60%で、特別プロジェクトの倍以上となっている。

図 13：次元 CAD 導入の主体部門 (N=134：内、早期採用企業 49 社)



全社・事業部レベルの特別プロジェクト主体による導入が早期採用企業で多いことは興味深く、前節までの結果と一貫していると思われる。この図からだけで単純に解釈するのは危険であるけれども、新世代 3 次元 CAD を効果的に導入するためには、設計部門の視点だけでなく全社レベルの視点が必要である可能性は高い。設計部門内部での最適化を考えた場合には、全く新しい設計スキルが必要になることや短期的に負荷が増大することなどから、導入効果に対する積極的な評価が得られにくい。新しい CAD システムに対する投資の大きさ考えると、結果的に導入に消極的になってしまう可能性が高い。しかし、設計だけでなく、設計から解析、製造、協力企業に至る開発プロセス全体での効率を全社レベルで高めることを考えた導入であれば、たとえ導入初期段階で設計の非効率性が生じるとしても導入にむけた積極的な意思決定が可能になる。

前節での普及の分析では、３次元 CAD を導入している企業は 65%にも達しているが、ほとんどの企業で全社・事業部レベルでの全体的な利用にまでは至っていないということがわかった。その１つの理由は、設計部門など個別の部門が主導する形で、つまりボトムアップ的に導入を行っている企業が多いことではないかと思われる。さらにいえば、ボトムアップ的で漸進的な意思決定を行う傾向にあるとしばしば指摘されてきた日本企業の特質が、３次元 CAD のような情報技術の導入とは適合していないのかもしれない。

6. 3次元 CAD 導入の効果

6.1 3次元 CAD 利用割合の変化の影響

3次元CADの導入効果は、CAD利用という点もっと先進的であるとして選定された「現在のプロジェクト」と同種製品開発を行った「過去のプロジェクト」との間での「開発成果の変化」に関する質問によって把握された。質問は全て5点尺度のリカートスケールで質問され、全部で31項目に渡った。これが被説明変数である。説明変数は、過去のプロジェクトと今回のプロジェクトとの間での「3次元CAD使用割合の差」である。ここでいう3次元CADの使用割合とは、設計工数全体に占める3次元CAD設計工数の割合のことであり、ワイヤーフレーム、サーフェス、ソリッドの全てを含んでいる。またCAD導入割合の変化は、過去のプロジェクトと今回のプロジェクトの間での「時間経過の長さ」が影響すると考えられるので、それを第1のコントロール変数とした。さらに、3次元CAD使用割合の変化（増大）の影響は、そもそも過去のプロジェクトでどの程度3次元CADを利用していたのかに依存すると考えられるので、「過去のプロジェクトでの3次元CAD利用割合」を第2のコントロール変数とした。導入効果をあらわす31の変数を被説明変数として、3次元CAD使用割合の変化を説明変数、時間経過の長さと過去のプロジェクトでの3次元CAD利用割合をコントロール変数として重回帰分析をおこなった。

以下の表5は、その重回帰分析で、3次元CAD使用割合の変化と3次元CAD導入効果との間に統計的に有意な関係がみられたものを示したものである。

この結果から読みとれる第1のことは、3次元CAD導入の目的として特に重要視されていた開発期間の短縮や開発工数の削減という効果が全くみられないという点である。むしろ3次元CAD導入の効果は、形状矛盾の減少などを通じた製品品質の向上にあることがわかる。製造性の向上、設計変更の減少、設計データの解析への利用、後工程からの寸法・形状の確認の減少にも影響がみられるように、特に初期段階での設計データの精度の向上が大きな効果であると考えられる

表5：3次元CADの使用割合の変化と開発成果の変化との関係に関する回帰分析の結果（N=114）

開発期間の短縮、工数の削減	（有意な項目なし）
製品品質	製品の小型化、薄型化**
	形状矛盾の減少***
	製品品質の向上***
	製造性の向上***
	設計変更の減少**
解析プロセス	解析の種類の増大***
	設計データの解析への利用***
試作プロセス	試作回数の削減***
	試作製作のスピードアップ***
	ラピッドプロトタイピングの活用**
部門間・企業間の連携	生産技術・製造部門・協力企業への正確なデータ伝送***
	生産技術・製造部門・協力企業への早期のデータ伝送***
	後工程からの寸法・形状確認の減少***
	同時並行化（コンカレントエンジニアリング）の促進***
	意匠デザイナーと設計者とのコミュニケーション増大***
	製造・生産技術・金型部門からの意見の取り込み***
	協力企業からの意見の取り込み***
	プレゼンテーションへの活用**
	サプライヤーとの共同開発の促進**

注：表中の項目は全て被説明変数。説明変数は「3次元CAD利用割合の増大」、コントロール変数は「時間経過の長さ」と「過去のプロジェクトでの3次元CAD利用割合」
**p<.05, ***p<.01

この点に関して、青島（1997）は、ボーイング777の開発における3次元ソリッドの導入は、開発期間の短縮ではなく、第1号機の完成度を高めるという形でパフォーマンスに寄与したことを記述している。また竹田（1999）は、AV機器・情報機器開発における3次元CADの初導入プロジェクトの事例研究を行い、3次元CADの導入は必ずしも開発期間や開発工数の削減にはつながっていないことを発見している。3次元CADの導入が開発期間や開発工数の削減に思うように結びつかないのはなぜであろうか。

まず考えられる要因は、設計者やデザイナーが3次元CADの操作に慣れていないということである。3次元CAD設計環境へはいまだ過渡期であり、期待するような効果がでるには時間がかかるかもしれない。第2には、形状に矛盾があってはならないため設計者が初期段階で様々な要件を作り込まなければいけないこと、設計者がみずから解析までできるようになったこと、さらに試行錯誤がやりやすくなったため細かいことまで気を配るようになったことなどによってかえって工数がかかってしまうことがあげられる。この場合はその分設計品質が向上しているはずである。つまり、製品品質を高めるために開発期間の短縮や開発工数の削減が犠牲になっている可能性がある。さらに推測するなら、3次元CAD導入によって工数を削減するよりも設計品質を向上させる方が容易いため、短期的に最も導入効果が出やすい形で3次元CADが利用されている可能性がある。

第2に注目されるのが部門間・企業間の連携に関する項目への影響である。3次元CADの利用

は、後工程への正確なデータを早期に伝送すること、後工程からの確認が減ること、後工程の意見を取り入れること、意匠デザイナーとのコミュニケーション、同時並行化の促進といった部門間の連携に変化を生み出している。また協力企業からの意見の取り込みや共同開発の促進にも影響がみられるように、企業間の関係にも変化がみられる。3次元CAD導入の目的に関して、実際に製品開発に利用したことのある早期採用企業は、部門間・企業間の関係に関する項目を重要視していた。それと一貫した結果である。

6.2 新世代CAD（ソリッドモデラー）利用割合の変化の影響

以上の分析では、旧世代、新世代を問わず全ての3次元CADについての利用割合の増大の影響をみてきた。続いて、3次元CAD利用プロジェクトに限定して、新世代CAD（ソリッドモデラー）の導入効果を検討しよう。被説明変数は上記の分析と同じ31項目であり、説明変数は「3次元ソリッド利用割合の変化」、コントロール変数として「時間経過の長さ」と「過去のプロジェクトでの3次元ソリッド利用割合」をとって重回帰分析を行った。ソリッド利用割合の変化の影響が統計的に有意であったモデルの被説明変数を示したのが以下の表6である。

表6：3次元ソリッドの使用割合の変化と開発成果の変化との関係に関する回帰分析の結果（N=53、3次元CAD利用プロジェクトのみ）

開発期間の短縮、工数の削減	（有意な項目なし）
製品品質	形状矛盾の減少*
解析	解析の種類の増大*
	設計データの解析への利用**
試作	（有意な項目なし）
部門間・企業間の連携	後工程からの寸法・形状確認の減少**
	同時並行化（コンカレントエンジニアリング）の促進**
	製造・生産技術・金型部門からの意見の取り込み*
	製造要件を考慮した設計**

注：表中の項目は全て被説明変数。説明変数は「3次元ソリッド利用割合の増大」、コントロール変数は「時間経過の長さ」と「過去のプロジェクトでの3次元ソリッド利用割合」。サンプルは3次元CAD利用プロジェクト。
*p<.1, **p<.05,***p<0.01

3次元CAD利用プロジェクトのみを分析の対象とした分析では、有意な関係がみられる項目が少なくなっているのは、そもそも3次元CADを利用したプロジェクトと利用していないプロジェクトとの差が大きいことを示している。

上の表からまず読みとれることは、ソリッド利用の増大は開発期間の短縮や開発工数の削減には寄与していないということである。つまり3次元CADの導入が開発期間や工数の削減に結びつかないという前節での結果は、新世代CADについても成り立つということである。3次元CADの利用割合が増大したプロジェクトの多くはソリッド利用割合を増大させたプロジェクトであることを考えれば、この結果は当

然の結果といえる。

第2に、ソリッド利用の増大は、形状矛盾の減少に寄与している。統計的に有意な関係はみられなかったが、製品品質にかかわる項目のほとんどがプラスの影響を示唆しており、ソリッドベースの開発は形状矛盾の減少を通じた製品品質の向上に寄与していると考えられる。

第３に、解析と設計との関係も含めて部門間での協力関係に影響を与えている。その結果、同時並行的な開発が促進され、早期の問題解決を通じて後工程での問題が軽減されていることがわかる。開発期間の短縮や工数の削減という目的以外では、予想された効果がみられていると判断できる。

6.3 3次元 CAD の導入、開発期間の短縮、開発工数の削減

これまでみてきたように、３次元 CAD の導入は、開発期間の短縮や開発工数の削減には効果がみられなかった。しかしながら、３次元 CAD を導入したプロジェクトの中には、これらの成果を実現しているグループも存在する。そこでここでは、３次元 CAD 利用プロジェクトを、開発期間の短縮や開発工数の削減を達成したグループと達成しなかったグループとに分けてその違いに影響を与える要因を考察することにした。開発期間を短縮したグループとは、『開発期間が全体として短縮した』という項目に対して、「5. 全くあてはまる」もしくは「4. ある程度あてはまる」と回答したグループであり、開発期間を短縮しなかったグループは、『3 どちらともいえない』、『2 あまりあてはまらない』、『1 全く当てはまらない』と回答したグループである。開発工数に関しても同様に、『開発工数（プロジェクト全体）が削減された』という質問項目に対する回答で２つのグループに分けた。

開発工数や開発期間に削減に影響を与える要因として、前節で考察した開発成果の変化を表す項目の中で、開発期間や開発工数、製品品質にかかわる項目以外の項目をそれぞれ個別にとりあげることにした。またコントロール変数としては、「3次元ソリッド利用割合」と「経過時間の長さ」を考慮した。つまり、同じ程度に新世代の3次元 CAD が導入されていても、その使い方、例えば、部門間の連携のあり方や試作での使い方に違いがあるから開発期間や開発工数の削減が実現できているプロジェクトもできていないプロジェクトもあるのではないかという推測がこの分析の背後にある。分析は、開発工数の削減の有無（有=1、無=0）と開発期間の短縮の有無（有=1、無=0）を被説明変数としたロジスティク回帰によって行った。説明変数は、前節であつかった開発成果の変化に関する項目のそれぞれで、１つの回帰モデルに１つづつ導入した。以下の表７は、開発期間の短縮と開発工数の削減のそれぞれと統計的に有意な関係がみられた項目を示している。

表7：開発期間の短縮と開発工数の削減と関係のある要因

(N=52)

開発期間の短縮と関係のあった項目
製造性向上*
設計変更の減少*
試作回数の削減*
試作製作のスピードアップ****
ラピッドプロトタイピングの活用***
試作や金型コストの低下*
生産技術・製造部門・協力企業への早期のデータ伝送**
同時並行化（ｺﾝｶﾚﾝﾄｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ）の促進***
製造・生産技術、金型部門からの意見の取り入れ*
サプライヤーとの共同開発の推進*
製品のシリーズ展開**
製造要件を考慮した設計*
開発工数の削減と関係のあった項目
製品のシリーズ展開***

*p<.1, **p<.05, ***p<0.01

まずこの表からいえることは、同じように3次元CADを導入していても、それを試作プロセスでの効率化にうまく活かしているプロジェクトほど、開発期間の短縮化を実現しているということである。また試作のスピードアップだけでなく、試作回数の削減や試作コストの低下という項目もみられることから、試作を何度も繰り返すことによって製品品質を高めることよりも、試作のスピードアップを試作回数の削減の方へ振り向けたプロジェクトが開発期間短縮を実現できたといえるかもしれない。

第2に、各部門との間のデータのやりとりをスムーズにして同時並行的な開発を進めているプロジェクトが開発期間の短縮に成功している。またサプライヤーとの共同での開発をすすめているプロジェクトは開発期間の短縮を実現する傾向にあり、これは外部資源への依存度を高めることが開発期間の短縮に結びつくと考えられる一方で企業の枠を越えたコンカレントエンジニアリングを行うことが期間の短縮に必要となっているとも解釈できる。

第３に、製品のシリーズ展開や製造要件を考慮した設計という項目にみられるように、設計思想そのものの変化が開発期間の短縮や開発工数の削減と関係している可能性が高い。つまり、既存の製品設計を3次元CADという新しいツールで行うだけでなく、そもそも設計内容や設計手法自体を3次元CADの特性を活かせるように変化させているプロジェクトほど開発効率を高めることができている。

7. おわりに

ソリッドモデラーと呼ばれる新世代３次元CADは、製品情報を完全にデジタル化することによって、

一元化されたデータを共有しながらコンピュータ上で開発を進めることを可能にする新しい技術である。こうした新技術の潜在力と導入上の問題点を明らかにすることを目的として実施された質問票調査の結果を報告することが本論文の主たる目的であった。

日本の機械系製造企業 169 社から得られた質問票データをもとに、まず新世代3次元 CAD の普及・導入状況を把握した。そこでは、3次元 CAD を導入している企業は 65%にも達しており、特定のプロジェクトで実際に利用されている例もあるが、全社・事業部レベルで主力ツールとして利用しているケースは 10%にも満たないことがわかった。

3次元 CAD の全社的な利用がすすまない理由を明らかにするため、次に、既に製品開発に利用している「早期採用企業」と「その他の企業」との比較分析を行った。そこでわかったことの1つは、早期採用企業が、3次元 CAD を設計部門内部の効率化を実現するツールとして考えているだけではなく、異なる部門間や社外の協力企業との間での情報のやりとりを改善して同時並行的な開発プロセスを推進する技術としてとらえている点であった。それは、個別部門の効率化を実現するという部分最適の考え方でなく、開発プロセス全体の変革をも想定した全体最適の考え方をもたないと、3次元 CAD の導入は首尾よく進まないということを示唆していた。早期採用企業が、各部門の業務分担のあり方の見直しや人員の再配置といった組織変更が必要になることを強く認識していたこともこの点と関係している。

3次元 CAD の導入はそれぞれの既存部門に同様の便益を与えるものではない。例えば、上流の設計部門に従来以上の負担がかかることはしばしばみられる。そうした状況では各部門の利害要求を全て満たすような形での導入実現は極めて難しくなる。個別部門ごとのボトムアップ的な意思決定スタイルは導入の足かせになる可能性がある。早期採用企業とその他の企業との比較ではこの点でも示唆に富んでいた。早期採用企業の多くは、全社（もしくは事業部）レベルの特別プロジェクトが導入の推進主体になっていた一方、その他の企業の多くでは設計部門が導入主体となっていた。

続いて、3次元 CAD 導入の効果を分析した。3次元 CAD 導入の効果として最も期待されているのは開発期間の短縮や開発工数の削減であるにもかかわらず、それらの効果は全くみられなかった。むしろ効果は製品品質に関わる項目においてみられた。3次元 CAD による試作製作のスピードアップや情報の一元化は、多くの企業では、開発スピードをあげることでなくむしろ製品の品質を高めることに利用されていると考えられる。ただし、開発期間の短縮を実現している企業では、試作のスピードアップを試作回数の減少に振り向け、製品のシリーズ展開による工数削減を行っていた。つまり3次元 CAD の導入をどのような開発成果につなげるのかは、各企業の選択次第であると考えられる。

新世代の3次元 CAD の導入は、古いツールから新しいツールへの単純な転換ではない。この新技術から十分な効果を得るためには、協力会社までも含めた開発プロセス全体の統合、最適化を考えて、組織構造・プロセスから分業構造、部門間の力関係、専門性の範囲・定義までを含めた大きな変革を念頭におかなければならない。それが本論文が示唆していることである。日本企業が得意といわれてきたボトムアップ的でインクリメンタルな意思決定プロセスはこうした新技術の導入にはむしろ足かせになる

なるのかもしれない。

参考文献

青島矢一、「日本型」製品開発プロセスとコンカレントエンジニアリング」『一橋論叢』第120巻第5号、p 111-135、1998年

竹田陽子、『3次元CADが製品開発における協働プロセスに与える影響』慶応大学博士論文、1999年

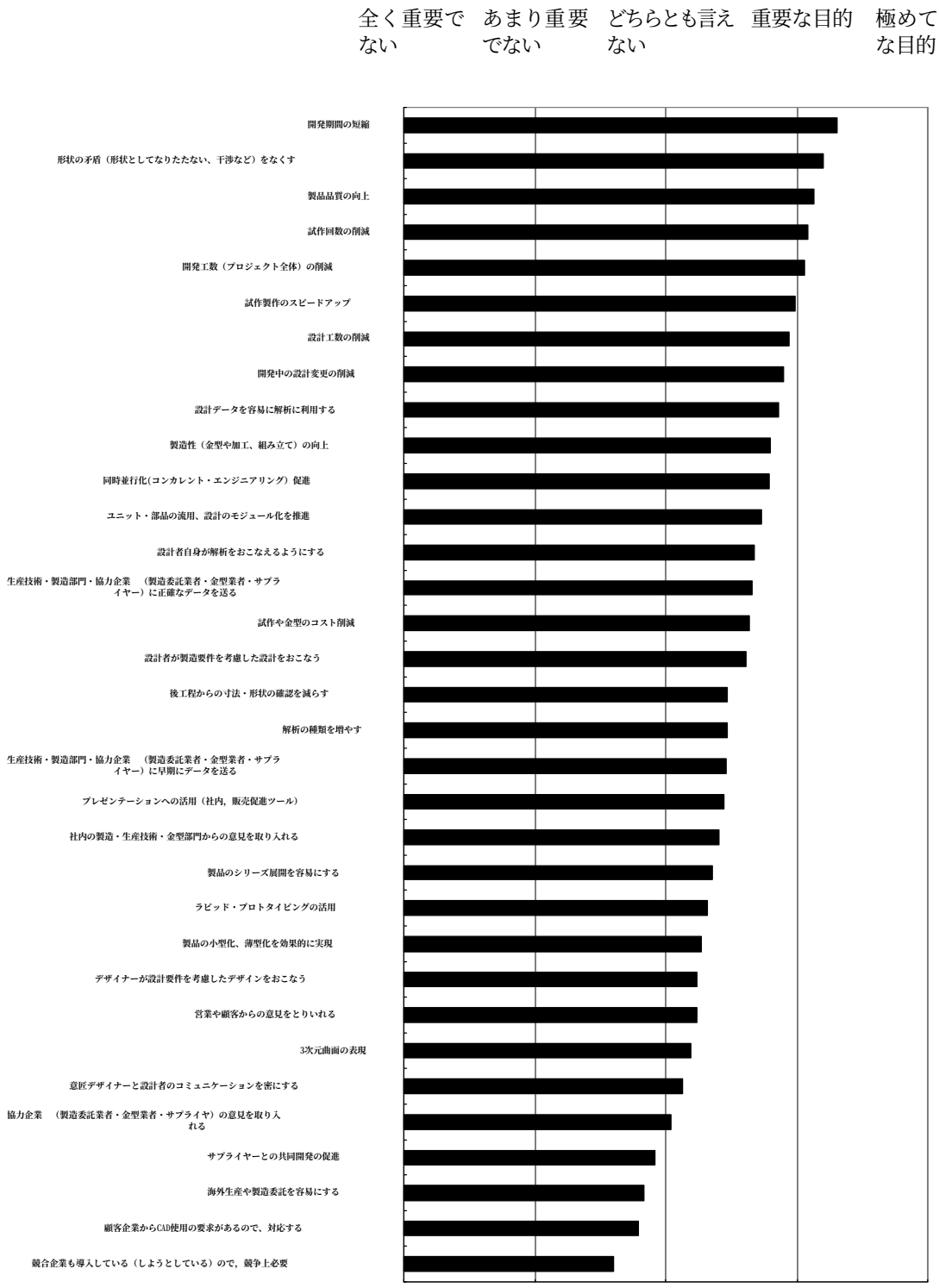
延岡健太郎、「新世代CADにおける製品開発の革新」『国民製材雑誌』第176巻6号、1997年

Clark, Kim and Takahiro Fujimoto , Product Development Performance, Boston MA: HBS Press, 1991

Baba, Yasunori and Kentaro Nobeoka, "Towards Knowledge-based Product Development: the 3D CAD Model of Knowledge Creation," Research Policy, 26, pp.643-659

財団法人機械振興協会経済研究所「製品開発における3次元CAD利用の現状に関する調査」、平成11年5月

資料1：3次元CAD導入の目的 (N=140)



資料2：3次元CAD導入の問題点 (N=140)